REPERCUSSION DES SYMPTOMES DU DEPERISSEMENT SUR LA CROISSANCE DES EPICEAS

par van der Stegen J.[1], Dutilleul P.[2], Weissen F.[1]

1/ INTRODUCTION

DEPUIS l'apparition du dépérissement des forêts, de nombreux scientifiques ont recherché les causes du phénomène (NIESSLEIN et al., 1985; BONNEAU in DEFORPA, 1987). Plus rares sont ceux qui ont examiné ses répercussions sur la croissance des arbres (BECKER in DEFORPA, 1987). Or, du point de vue de l'aménagiste forestier, il a paru important d'étudier **l'évolution de l'état sanitaire de l'épicéa** d'une part, et la **relation entre l'état sanitaire et la croissance de l'épicéa,** d'autre part. C'est la condition sine qua non pour donner au forestier le moyen de simuler ou d'apprécier, à partir d'un inventaire sanitaire, l'évolution future (de la production) de ses pessières dépérissantes.

La présente étude a été réalisée dans les peuplements d'épicéas du massif de la Croix Scaille (van der STEGEN, 1988). Ce massif forestier des Ardennes namuroises forme un dôme qui culmine à 505 mètres d'altitude. L'épicéa s'y trouve en station (WEISSEN et al., 1988 a). Depuis 1983, l'état sanitaire des arbres du massif se dégrade. Les arbres y souffrent d'une carence aiguë en magnésium accentuée vraisemblablement par des polluants atmosphériques (WEISSEN et al., 1988 b et c).



Arbre chlorosé (classe CH). Il n'y a pas encore de réduction notable de la croissance radiale.

1. Unité des Eaux et forêts, U.C.L. - Place Croix du Sud 2, B-1348 LOUVAIN-la-NEUVE.
2. Unité de Biométrie et Analyse des Données, U.C.L. - Place Croix du Sud 2, B-1348 LOUVAIN-la-NEUVE.

2/ MATERIEL ET METHODES

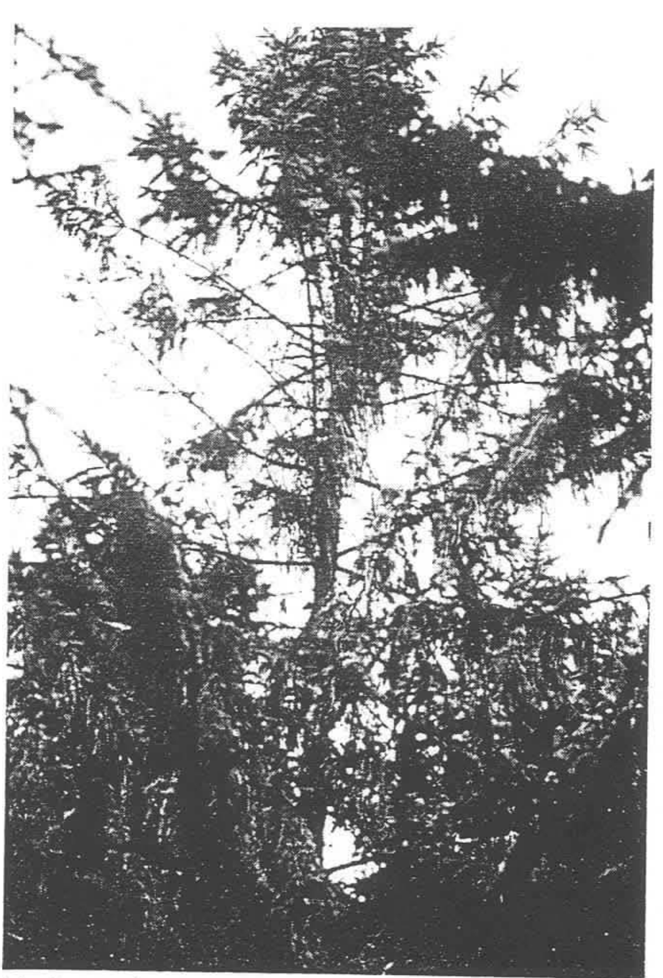
2.1 EVOLUTION DE L'ETAT SANITAIRE DE L'EPICEA

2.1.1/ MATERIEL

EN 1986, l'Administration des Eaux et Forêts a installé un dispositif d'étude du dépérissement dans deux peuplements d'épicéas âgés de 60 et 66 ans. La surface des parcelles est respectivement de 1 ha et 1,3 ha. L'Administration procède annuellement à un inventaire du dispositif; il est basé sur cinq classes, à savoir : arbres sains (classe 1), arbres chlorosés (classe 2), arbres fenestrés (classe 3), arbres mourants (classe 4), arbres morts (classe 5). Les données récoltées au cours des trois inventaires (1986, 1987, 1988) constituent notre matériel d'étude.

2.1.2/ METHODES

L'analyse des inventaires sanitaires repose sur l'estimation de la probabilité, dite de transition (PARZEN, 1960), que connaît un arbre de passer de la classe sanitaire i à la classe sanitaire j en un laps de temps donné (un ou deux ans dans notre cas : 1986-1987, 1987-1988, 1986-1988). Ces probabilités de transition ont été estimées par les fréquences conditionnelles correspondantes.



Arbre fortement fenestré (plusieurs verticilles sont fortement défoliés) (classe FF). A partir de ce stade, il y a forte chute de l'accroissement radial.

La représentation matricielle des probabilités de transitio comme suit, en facilite l'interprétation :

$$P = \begin{bmatrix} P(1,1) & P(1,2) & P(1,3) & P(1,4) & P(1,5) \\ P(2,1) & P(2,2) & . & . & . \\ P(3,1) & . & P(3,3) & . & . \\ P(4,1) & . & . & P(4,4) & . \\ - & - & - & - & P(5,5) \end{bmatrix}$$

où P(1,3), par exemple, représente la probabilité pour un arbr de passer de la classe 1 à la classe 3 en l'espace de temp considéré. Notons que les éléments se situant sur la diagonal représentent les probabilités de conserver le même état sanitair ceux au-dessus de la diagonale, les probabilités de dégradatio de l'état sanitaire et ceux au-dessous de la diagonale, le probabilités d'amélioration de l'état sanitaire.

●

2.2/ RELATION ENTRE L'ETAT SANITAIRE ET LA CROISSANCE DE L'EPICEA

2.2.1/ MATERIEL

IL a été procédé à des sondages à la tarière de PRESSLER de façon à préciser l'évolution de la croissance de l'arbre lors de la dégradation progressive de son état sanitaire. Dans quatre peuplements de 66, 60, 58 et 58 ans d'âge, des carottes de sondage ont été prélevées à 1,5 mètre sur des épicéas dominants, sains et malades, de taille comparable.

Dans le cadre de cette étude, deux classifications sanitaires ont été utilisées : celle de l'Administration (cf. 2.1.1) et une seconde, plus détaillée; cette dernière comporte six classes qui ont été définies sur base de l'approche symptômatologique proposée par FARCY et al. (à paraître) : les arbres sains, les arbres chlorosés, les arbres fenestrés (chlorosés ou non), les arbres fort fenestrés (plusieurs verticilles très défoliés), les arbres à verticilles morts, les arbres à tête morte.

Dans un de ces quatre peuplements, l'abattage de 15 arbres dominants a permis d'effectuer également des mesures de la croissance en hauteur.

2.2.2/ METHODES

Dans un premier temps, l'épaisseur moyenne de cerne en 1987, pour chacune des classes sanitaires des deux classifications, a été portée en graphique afin de détecter le stade sanitaire critique à partir duquel la croissance radiale de l'épicéa régresse.

Dans un second temps, la croissance des arbres sains a été comparée, depuis 1960, à celle des arbres malades. Cette comparaison a été réalisée en trois étapes :

a) calcul de chronologies catégorielles qui représentent l'évolution dans le temps de la moyenne des accroissements radiaux de tous les arbres d'une même classe sanitaire;

b) comparaison, année par année, des chronologies catégorielles à l'aide d'une analyse de la variance à un critère de classification (ANOVA 1);

c) comparaison des tendances, linéaire, quadratique, cubique..., des chronologies catégorielles à partir de l'année précédant l'apparition d'une différence significative et définitive entre chronologies (ANOVA - modèle des mesures répétées).

3/ RESULTATS ET DISCUSSION

3.1/ EVOLUTION DE L'ETAT SANITAIRE DE L'EPICEA

L'EXAMEN de la figure 1 révèle que **l'état sanitaire** du dispositif d'étude **n'a cessé de se dégrader au cours des trois dernières années.** Les effectifs des classes supérieures augmentent au dépens de ceux des classes inférieures. En 1986, la majorité des arbres étaient chlorosés (classe 2); en 1988, les proportions d'arbres fenestrés (classe 3) et chlorosés sont très proches.

P1 : matrice de transition de classe sanitaire de 1986 à 1987.

0,409	0,563	0,028	0,000	0,000
0,010	0,698	0,290	0,002	0,000
0,000	0,053	0,835	0,113	0,000
0,000	0,000	0,227	0,727	0,045
—	—	—	—	—

P2 : matrice de transition de classe sanitaire de 1987 à 1988.

0,429	0,429	0,117	0,026	0,000
0,101	0,566	0,312	0,022	0,000
0,011	0,156	0,615	0,211	0,007
0,000	0,000	0,156	0,781	0,063
—	—	—	—	1,000

P3 : matrice de transition de classe sanitaire de 1986 à 1988.

0,256	0,563	0,176	0,006	0,000
0,072	0,440	0,424	0,064	0,000
0,008	0,098	0,534	0,338	0,023
0,000	0,000	0,227	0,582	0,091
—	—	—	—	—

Tableau 1 : *Matrices de transition de classe sanitaire.*

L'analyse des matrices de transition (tableau 1) met en évidence les points suivants :

a) la probabilité pour un arbre de rester sain de 1986 à 1988 est beaucoup plus faible que celle de voir son état sanitaire se détériorer;

b) la probabilité pour un arbre de passer dans une classe supérieure en l'espace de deux ans est plus grande qu'en l'espace d'un an, l'écart entre ces probabilités étant cependant faible;

c) que ce soit sur un ou sur deux ans, les arbres (excepté les sains) ont le plus de chance de conserver le même état sanitaire.

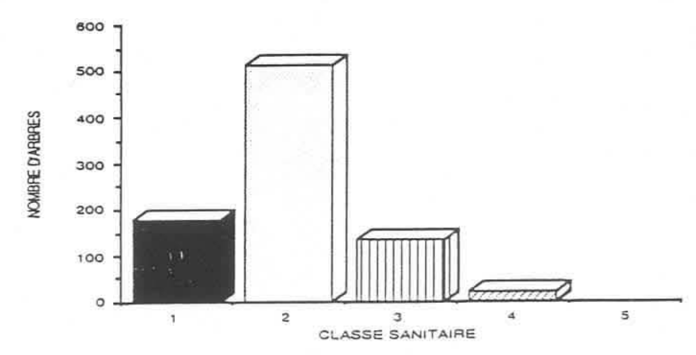


Figure 1a. Inventaire sanitaire de 1986.

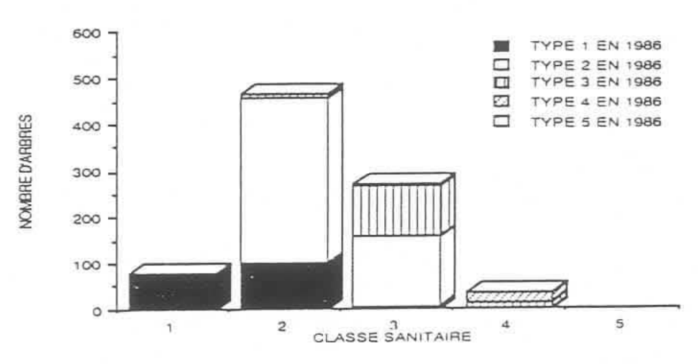


Figure 1b. Inventaire sanitaire de 1987 et évolution des classes sanitaires par rapport à 1986 (exemple : en noir, tous les arbres qui étaient dans le classe 1 en 1986).

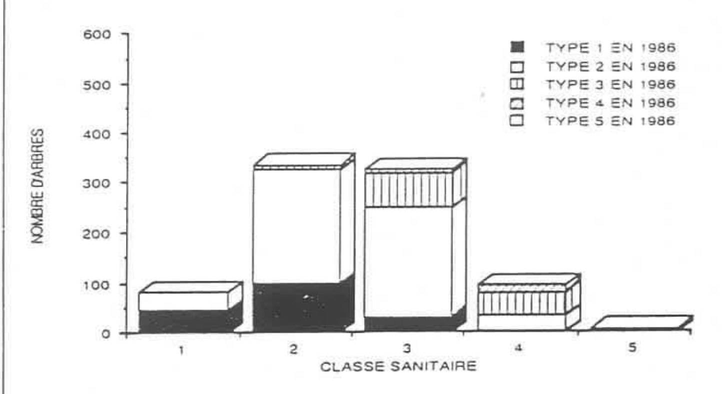


Figure 1c. Inventaire sanitaire de 1988 et évolution des classes sanitaires par rapport à 1986 (exemple : en noir, tous les arbres qui étaient dans la classe 1 en 1986).

Figure 1. Dispositif d'étude du dépérissement : répartition des arbres entre les diverses classes sanitaires en 1986, 1987 et 1988 (845 épicéas).

Ces constatations mettent en exergue **la dégradation constante mais assez lente de l'état sanitaire de l'épicéa.** Toutefois, il convient d'observer que les **probabilités d'amélioration spontanée de l'état sanitaire ne sont pas nulles mais la durée de l'amélioration reste inconnue.**

Il apparaît au tableau 2 que les arbres ont une probabilité élevée de rester trois ans au moins au stade de la chlorose et trois ans également au stade de la fenêtre. En effet, la probabilité de rester dans la classe 2 (3) de 1987 à 1988 est de 0,599 (0,604) si l'arbre était déjà dans la classe 2 (3) en 1986.

Si l'arbre passe de la classe	...	à la classe	...	de 86 à 87, il a une probabilité de passer de 87 à 88 dans la classe	...	de	...
	1		2		2		0,667
	1		2		3		0,212
	2		2		2		0,599
	2		2		3		0,340
	2		3		3		0,624
	2		3		4		0,161
	3		3		3		0,604
	3		3		4		0,279
	3		4		4		0,800

Tableau 2: *Probabilités de transition de classe sanitaire de 1987 à 1988 étant donné la classe sanitaire en 1986.*

Selon toute vraisemblance, les stades de la chlorose et de la fenêtre ne durent guère plus de trois ans. En effet, le dépérissement ne s'est généralisé qu'à partir de 1985, même si des symptômes de chlorose apparaissaient déjà antérieurement. Or, les séquences sanitaires les plus fréquentes sont 2 2 2, 2 2 3 et 2 3 3 (cf. tableau 3). Il est donc vraisemblable qu'après trois ans de chlorose (classe 2), les arbres passent au stade «fenestré» (classe 3). D'autre part, on constate (tableau 2) que les arbres qui sont restés dans la classe 3 de 1986 à 1987, ont plus d'une chance sur quatre (0,279) de passer dans la classe 4 en 1988. Ceci laisse donc supposer pour la majorité des arbres une durée de transit dans la classe 3 de trois ans.

L'ensemble de ces considérations nous a amenés à élaborer un schéma de l'évolution de l'état sanitaire de l'épicéa à la Croix Scaille (tableau 4).

Le comportement de tous les arbres n'étant pas identiques, c'est évidemment en termes de probabilités qu'il importe de raisonner, d'autant plus que les facteurs qui contrôlent le dépérissement peuvent évoluer dans le temps et dans l'espace. L'évolution type, mise en évidence ci-dessus, est donc sujette à modulation.

●

3.2/ RELATION ENTRE L'ETAT SANITAIRE ET LA CROISSANCE DE L'EPICEA

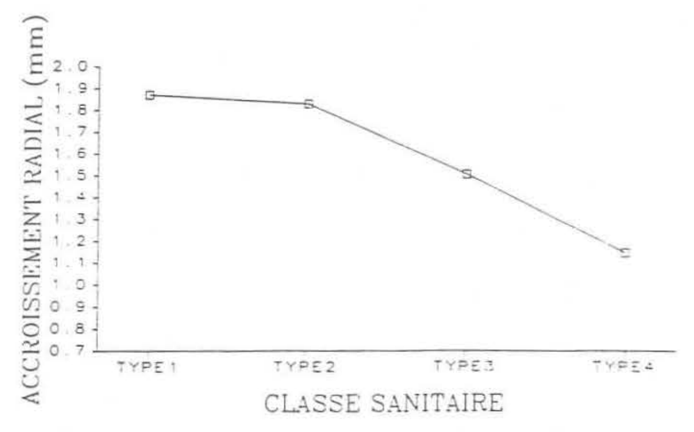


Figure 2. Dispositif d'étude du dépérissement: accroissements radiaux en 1987 pour 4 classes sanitaires - classification de l'administration.

LES figures 2 et 3 représentent l'épaisseur moyenne de cerne en 1987 pour chacune des classes sanitaires relatives aux deux classifications mentionnées ci-avant. Selon la classification de l'Administration, la croissance radiale s'effondre lorsque les arbres atteignent la classe 3 (fenestrés). La répartition du même échantillon d'arbres (67 épicéas) selon la seconde classification révèle que **la croissance diminue dès le stade de la chlorose mais qu'elle ne s'effondre pas avant que l'arbre n'ait atteint un stade avancé de la fenêtre.** La comparaison des figures 2 et 3 met en évidence l'intérêt d'une description suffisamment précise de l'état sanitaire des épicéas qui coïncide également avec des stades physiologiques.

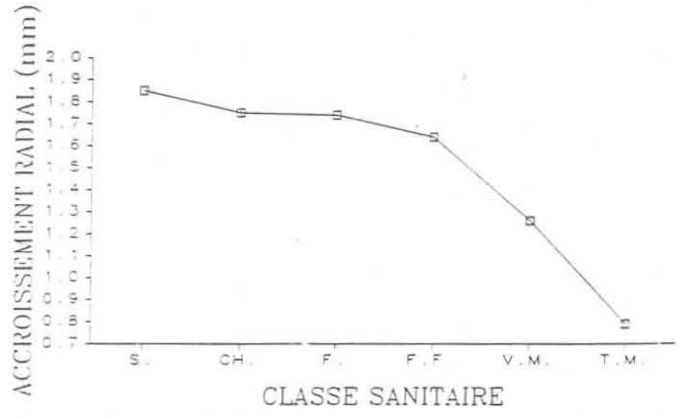


Figure 3. Dispositif d'étude du dépérissement: accroissements radiaux en 1987 pour 6 classes sanitaires - S. = arbres sains; C.H. = arbres chlorosés; F. = arbres fenestrés; F.F. = arbres fort fenestrés; V.M. = arbres à verticilles morts; T.M. = arbres à tête morte.

La comparaison, par peuplement, des chronologies catégorielles montre l'ampleur de la régression de la croissance radiale de l'épicéa provoquée par le dépérissement (figures 4 et 5: les astérisques y désignent les années où les chronologies diffèrent significativement[3]). Il apparait à la figure 4 que la croissance des arbres sains est significativement supérieure à celle des arbres malades (arbres fort fenestrés et à verticilles morts) depuis 1986. De plus, de 1985 à 1988, la pente (tendance linéaire) de la chronologie relative aux arbres sains diffère significativement de celle des deux autres chronologies. Dans le cas de la figure 5, la différence significative de croissance entre arbres sains et malades survient dès 1984, mais les tendances dans l'évolution de la croissance (depuis 1983) ne diffèrent pas significativement entre ces deux groupes d'arbres.

(3) Différence significative lorsque l'alpha critique est inférieur à 0,05.

Séquences sanitaires	Nbre d'arbres	Fréquence de la séquence
1 1 1	32	0,038
1 1 2	32	0,038
1 1 3	7	0,008
1 1 4	1	0,001
1 2 1	12	0,014
1 2 2	66	0,078
1 2 3	21	0,025
1 3 1	1	0,001
1 3 2	1	0,001
1 3 3	3	0,004
2 1 1	1	0,001
2 1 2	1	0,001
2 1 3	2	0,002
2 1 4	1	0,001
2 2 1	35	0,041
2 2 2	194	0,230
2 2 3	122	0,144
2 2 4	8	0,009
2 3 1	1	0,001
2 3 2	31	0,037
2 3 3	93	0,110
2 3 4	24	0,028
2 4 3	1	0,001
3 2 2	3	0,004
3 2 3	2	0,002
3 2 4	2	0,002
3 3 1	1	0,001
3 3 2	10	0,012
3 3 3	67	0,079
3 3 4	31	0,037
3 3 5	2	0,002
3 4 3	2	0,002
3 4 4	12	0,014
3 4 5	1	0,001
4 3 3	3	0,004
4 3 4	2	0,002
4 4 3	2	0,002
4 4 4	13	0,015
4 4 5	1	0,001
4 5 5	1	0,001
	Total = 845	Total = 1,000

Tableau 3: *Séquences sanitaires observées en l'espace de deux ans (séquence i j k: cotes sanitaires attribuées respectivement en 1986, 1987 et 1988; fréquence de la séquence i j k = nombre d'arbres de la séquence i j k/845).*

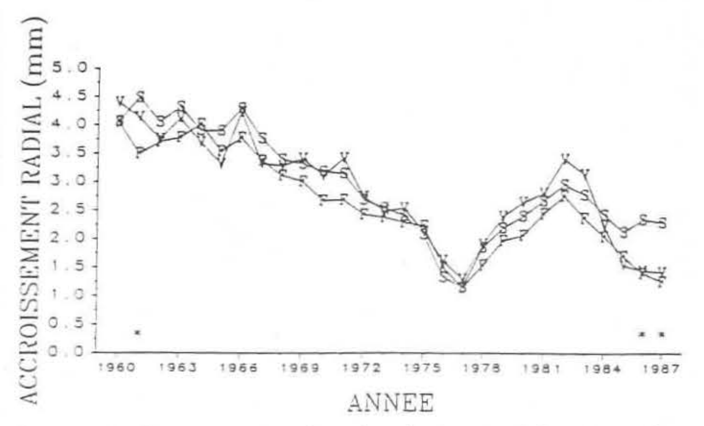


Figure 4. Peuplement « Cromboulle » : chronologies catégorielles - S. = arbres sains; F. = arbres fort fenestrés; V. = arbres à verticilles morts.

Durant environ 25 ans donc (de 1960 à 1984 ou 1986), les arbres de toutes les classes sanitaires ont pratiquement formé un ensemble homogène du point de vue de la croissance. Depuis quelques années seulement, ils se répartissent en sous-populations correspondant aux classes sanitaires, dont la croissance diffère significativement. Cette situation totalement inédite coïncide avec le développement des symptômes de dépérissement sensu stricto.

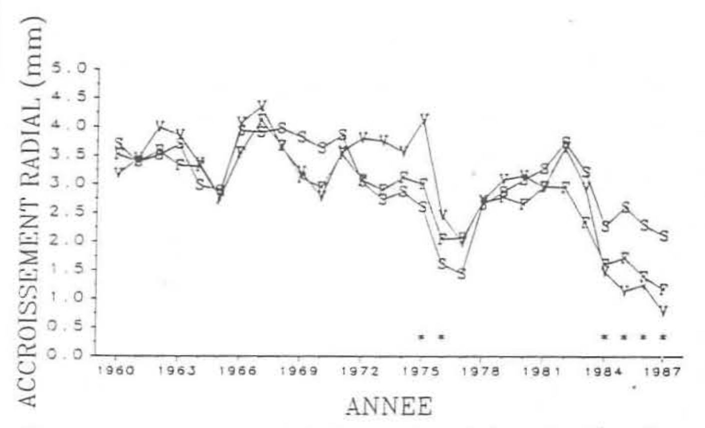
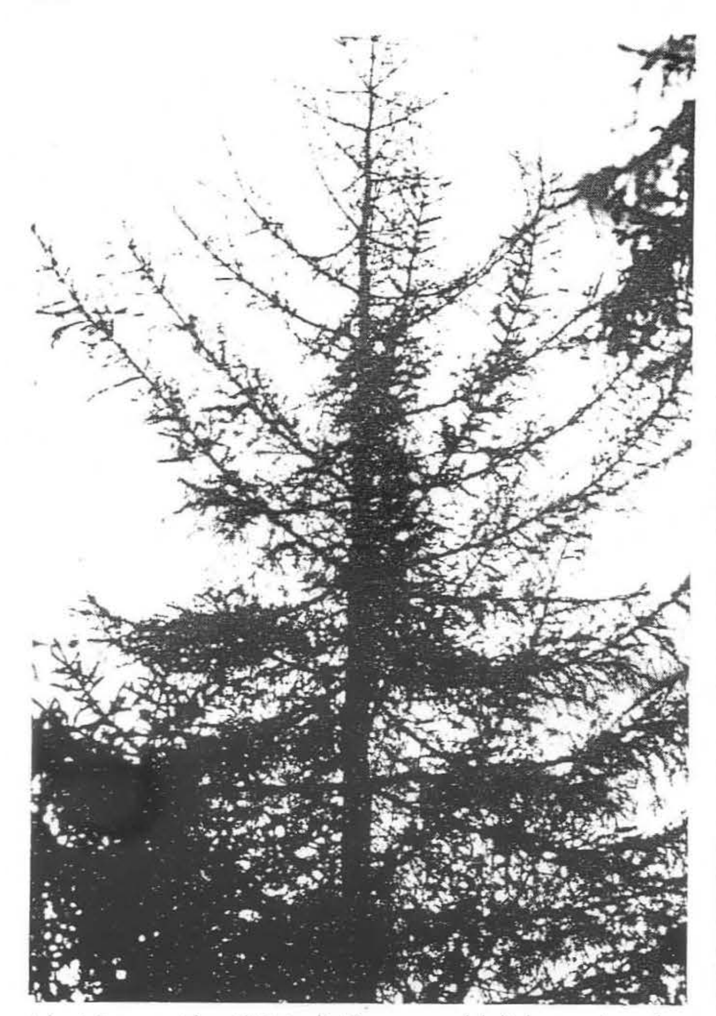


Figure 5. Peuplement « Virée de la Cense » : chronologies catégorielles - S. = arbres sains; F. = arbres fort fenestrés; V. = arbres à verticilles morts.

Il est intéressant de noter que la pente générale des chronologies catégorielles (de 1960 à 1988) est dans un des cas négative (figure 4) et dans l'autre quasi nulle (figure 5). La régression progressive et continue de la croissance radiale depuis 1960, telle qu'elle est observée à la figure 4, ne doit donc vraisemblablement pas être interprétée comme un élément annonciateur du dépérissement, mais plutôt comme le signe d'un vieillissement différencié des arbres, conforme à la variation des conditions stationnelles.

	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	Fréquence	1989
Evolution sanitaire	1	2	2	2	3	3	3	0,079	4
		1	2	2	2	3	3	0,110	3
			1	2	2	2	3	0,114	3
				1	2	2	2	0,230	3
					1	2	2	0,078	2
	Hypothèse				Certitude				Hyp.

Tableau 4 · *Proposition d'évolution de l'état sanitaire de l'épicéa à la Croix Scaille.*



Arbre à tête morte (classe TM). Le dépérissement total de l'arbre est très proche.

Au vu des figures 4 et 5, il ressort également que la sécheresse de 1976 ne semble pas devoir être invoquée pour expliquer le phénomène actuel du dépérissement de l'épicéa. En effet, la croissance radiale de tous les arbres se rétablit à un niveau normal après 1977. Il ne s'agit pas là d'une règle générale : BECKER (DEFORPA, 1987) a observé une discrimination de croissance entre sapins sains et malades depuis plusieurs décennies. L'apparition de cette discrimination semble liée à des cycles d'années sèches.

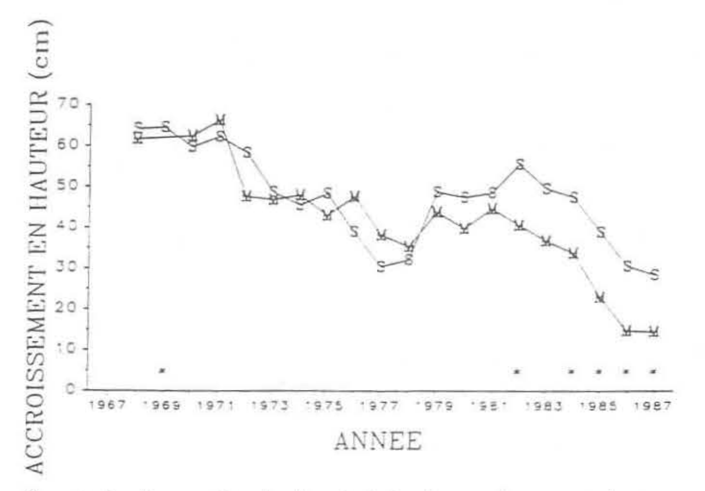


Figure 6. Peuplement « Cromboulle » : évolution des accroissements en hauteur - S. = arbres sains; M. = arbres malades.

(4) Différence significative lorsque l'alpha critique est inférieur à 0.1.

La croissance apicale des épicéas (figure 6) évolue de manière similaire à la croissance radiale. Dans ce cas cependant, la discrimination de croissance entre épicéas sains et malades survient plus tôt : à partir de 1982 et à l'exception de 1983, la croissance des arbres sains est significativement[4] supérieure à celle des arbres malades. Ces résultats doivent toutefois être considérés avec une certaine réserve car nous n'avons pu mener une large investigation à ce sujet.

4/ CONCLUSIONS

LA **connaissance de l'état sanitaire** des peuplements, compte-tenu des classes proposées et des temps de passage vraisemblables, permet la **simulation** de leur évolution. Cette évolution laisse présager, **à court terme, une forte réduction de la production** de nombreuses pessières de la Croix Scaille puisqu'un nombre croissant d'arbres entre en phase de régression de la croissance radiale.

Le dépérissement de l'épicéa risque, dès lors, d'engendrer un **préjudice croissant** au cours des années à venir. La réalisation prématurée des pessières disloquées par la maladie engendrera à la fois de graves pertes financières et une profonde perturbation de l'ensemble de l'aménagement forestier; il y a donc lieu d'émettre de **très sérieuses craintes quant à l'avenir de notre forêt de production.**

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

DEFORPA; 1987 : Les recherches en France sur le dépérissement des forêts. Rapport du programme DEFORPA. E.N.G.R.E.F., Nancy.

FARCY Ch., FELTEN V. et MARECHAL P. : 1988 : Evaluation des dommages en forêt : problématique et proposition d'une approche symptômatologique descriptive (à paraitre).

NIESSLEIN E. et VOSS G. : 1985 : Was wir über das Waldsterben wissen. Deutscher Instituts-Verlag; 259 p.

PARZEN E. ; 1962 : Modern probability theory and its application. WILEY International Edition : 464 p.

VAN DER STEGEN J. ; 1988 : L'évolution de la croissance de l'épicéa affecté par le dépérissement. Mémoire de fin d'étude, Unité des Eaux et forêts. U.C.L. ; 102 p.

WEISSEN F. et al. : 1988 a : Le fichier écologique des essences. 1re édition. Ministère de la Région Wallonne, Namur : 187 p.

WEISSEN F., van PRAAG H.J., MARECHAL P., DELECOUR F. et FARCY Ch. : 1988 b : Les causes de la dégradation sanitaire des forêts en Wallonie : le point de la situation. B.S.R.F.B., 95 (2) ; p. 57-68.

WEISSEN F., van PRAAG H.J., HAMBUCKERS A. et REMACLE J. : 1988 c : A decennial control of N-cycle in the Belgian Ardenne forest ecosystems. FERN-conférence, Aberdeen (à paraitre).

Remerciements : tout au long de cette étude, nous avons reçu l'appui de MM. L. WAUTHOZ, ingénieur principal-chef de service, L. PICARD, ingénieur, et de leur personnel, MM. JEANBAPTISTE, brigadier, et WILMART, agent technique; nous les en remercions vivement.